

**PAT-NO:** JP409054097A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 09054097 A  
**TITLE:** SCANNING **PROBE** MICROSCOPE  
  
**PUBN-DATE:** February 25, 1997

**INVENTOR-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
OKIGUCHI, KEIKO	
OSAWA, HISAO	

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
NIKON CORP	N/A

**APPL-NO:** JP07228539

**APPL-DATE:** August 14, 1995

**INT-CL (IPC):** G01N037/00 , G02B021/00

**ABSTRACT:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enable a **probe** to approach the surface of a sample at a high speed and to eliminate the possibility of the **probe** colliding with the sample.

**SOLUTION:** A sample stage 1 is formed by a quartz oscillator. A circuit 6, together with the sample **stage** 1, constitutes a quartz oscillator circuit and causes the sample **stage** 1 to **oscillate at a resonance** frequency represented by the formula  $F_0 = f_0 + \Delta f_0$ . Using a reference frequency oscillator 7, a mixer 8, a low-pass filter 9, and an F/V converter 10, a voltage signal at a level proportional to an amount of change  $\Delta f$  from the resonance frequency  $f_0$  when a **probe** 2 has moved away can be obtained from the output of the F/V converter 10. A control part 11 controls a **probe** drive 3 so that the **probe** 2 approaches the sample in response to a command from an operating part 12. The control part 11 stops the operation of the **probe** drive 3 when

the level of a signal output from the F/V converter 10 has reached a predetermined level.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-54097

(43)公開日 平成9年(1997)2月25日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 N 37/00  
G 0 2 B 21/00

識別記号

府内整理番号

F I

G 0 1 N 37/00  
G 0 2 B 21/00

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数5 FD (全9頁)

(21)出願番号

特願平7-228539

(22)出願日

平成7年(1995)8月14日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 沖口 圭子

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン本社内

(72)発明者 大澤 日佐雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン本社内

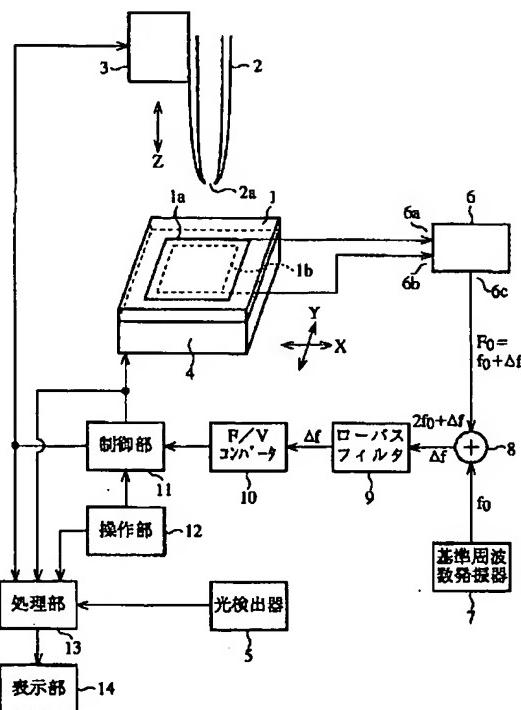
(74)代理人 弁理士 四宮 通

(54)【発明の名称】走査型プローブ顕微鏡

(57)【要約】

【課題】探針の試料表面に対する高速接近を可能とするとともに、探針が試料に衝突するおそれをなくす。

【解決手段】試料台1が水晶振動子からなる。回路6は、試料台1とともに水晶発振回路を構成し、試料台1をその共振周波数  $F_0 = f_0 + \Delta f$  で振動させる。基準周波数発振器7、混合器8、ローパスフィルタ9及びF/Vコンバータ10により、F/Vコンバータ10の出力から、探針2が遠ざかったときの共振周波数  $f_0$  に対する変化分  $\Delta f$  に比例するレベルの電圧信号が得られる。制御部11は、操作部12からの接近指令に応答して探針2が試料に対して接近するようにプローブ駆動装置3を制御する。制御部11は、F/Vコンバータ10の出力信号のレベルが所定レベルとなったときに、プローブ駆動装置3の作動を停止させる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料が搭載される試料台と、探針と、試料表面と略垂直な方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第1の移動手段と、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第2の移動手段と、を備えた走査型プローブ顕微鏡において、

前記試料台が水晶振動子からなり、

前記試料台を前記試料台の共振周波数で振動させる振動手段と、

前記試料台の共振周波数に応じた信号を出力する周波数検出手段と、

指令信号に応答して前記探針が前記試料に対して相対的に接近するように前記第1の移動手段を制御するとともに、前記周波数検出手段の出力信号に基づいて、前記試料台の共振周波数が所定周波数となったときに、前記探針の前記試料に対する接近が停止するよう前記第1の移動手段を制御する制御手段と、  
を更に備えたことを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項2】 試料が搭載される試料台と、探針と、試料表面と略垂直な方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第1の移動手段と、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第2の移動手段と、を備えた走査型プローブ顕微鏡において、

前記試料台が水晶振動子からなり、

前記試料台を前記試料台の共振周波数付近の所定周波数で振動させる振動手段と、

前記試料台のインピーダンスに応じた信号を出力するインピーダンス検出手段と、

指令信号に応答して前記探針が前記試料に対して相対的に接近するように前記第1の移動手段を制御するとともに、前記インピーダンス検出手段の出力信号に基づいて、前記試料台のインピーダンスが所定インピーダンスとなったときに、前記探針の前記試料に対する接近が停止するよう前記第1の移動手段を制御する制御手段と、  
を更に備えたことを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項3】 試料が搭載される試料台と、探針と、試料表面と略垂直な方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第1の移動手段と、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第2の移動手段と、を備えた走査型プローブ顕微鏡において、

前記試料台が水晶振動子からなり、

前記試料台を前記試料台の共振周波数で振動させる振動手段と、

前記試料台の共振周波数に応じた信号を出力する周波数検出手段と、

前記周波数検出手段の出力信号に基づいて前記試料台の

2

共振周波数が所定の周波数となるように前記第1の移動手段を制御しつつ、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針が試料表面を走査するよう前記第2の移動手段を制御する制御手段と、

を更に備えたことを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項4】 試料が搭載される試料台と、探針と、試料表面と略垂直な方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第1の移動手段と、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第2の移動手段と、を備えた走査型プローブ顕微鏡において、

前記試料台が水晶振動子からなり、

前記試料台を前記試料台の共振周波数付近の所定周波数で振動させる振動手段と、  
前記試料台のインピーダンスに応じた信号を出力するインピーダンス検出手段と、

前記インピーダンス検出手段の出力信号に基づいて前記試料台のインピーダンスが所定のインピーダンスとなるよう前記第1の移動手段を制御しつつ、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針が試料表面を走査するよう前記第2の移動手段を制御する制御手段と、  
を更に備えたことを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項5】 前記試料表面と略平行な面の方向における前記探針の前記試料表面に対する相対位置に応じた、前記試料表面と略垂直な方向の前記探針の前記試料表面に対する相対位置に関する情報を得る手段を、更に備えたことを特徴とする請求項3又は4記載の走査型プローブ顕微鏡。

## 【発明の詳細な説明】

## 30 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、探針を試料表面上で走査させつつ試料の所定の情報を測定する走査型プローブ顕微鏡に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 走査型プローブ顕微鏡は、ナノメータのオーダの分解能で試料表面を観察できる装置である。

【0003】 代表的なものには、走査型トンネル顕微鏡（STM）、原子間力顕微鏡（AFM）、走査型近接場光学顕微鏡（SNOM）などが挙げられる。

40 【0004】 STMでは、先端を先鋭化した探針と試料の間にバイアス電圧を加えて数十オングストローム以内に接近させ、探針と試料との間に流れるトンネル電流を検出する。そして、例えばトンネル電流が一定になるようフィードバックをかけながら探針を試料表面上で走査させると、探針は試料表面の形状に沿って移動するので、試料の表面形状を測定することができる。

【0005】 AFMでは、一般的に、先端に探針の付いたカンチレバーを試料表面に近づけ、試料からの原子間力によるカンチレバーの撓みを検出する。この撓み量は探針と試料表面との間に働く原子間力に比例するので、

例えばこの撓み量が一定になるようにフィードバックをかけながら探針を試料表面上で走査させると、試料表面の形状を測定できる。

【0006】SNOMでは、試料に照射する光の波長よりも小さな開口を有する探針（光プローブ）に光を導くと、開口付近にエバネッセント波が存在するので、これを用いて試料表面を照射しつつ探針を試料表面上で走査させることによって、試料の光学的情報を測定することができる。また、SNOMでは、試料の背面から全反射条件を満たすように照射光を入射させたときにも、試料表面にはエバネッセント波が存在するので、これを検出するための探針（プローブ）を試料表面を走査させることによって、試料の光学的情報を測定することができる。

【0007】ここで、従来の走査型プローブ顕微鏡の一例として、特開昭59-121310号公報に開示されたような走査型近接場光学顕微鏡について、図4を参照して説明する。図4はこの従来の走査型近接場光学顕微鏡を示す概略構成図である。

【0008】図4において、101は基台で、この基台101は図示しない除振装置によって外側振動を受けない構造とされている。102は基台101上に配設され試料103が搭載される試料台で、この試料台102は図示しない移動装置（駆動装置）によってX、Y方向（X方向及びY方向は、試料（被測定物）103の表面に平行な面内の方向であり、互いに直交している。）にそれぞれ独立に移動可能となっている。104は基台101上に設置された支柱、105は支柱104の先端アーム部104Aに垂直調整装置（試料103の表面と直交するZ方向に移動可能な移動装置）106を介して取り付けられた光源で、この光源105は半導体レーザ等からなる。試料103をX、Y方向に移動させることで、先端に開口を有する探針107が試料103の表面上を相対的に走査する。113は光源105から放射されて探針107の開口を通り試料103の表面で反射した反射光を検出するセンサで、このセンサ113に入射した反射光は光ファイバ110によって光検出器111に導かれ、電気信号に変換される。

【0009】この走査型近接場光学顕微鏡によれば、測定開始時に予め垂直調整装置106を作動させて探針107を試料103の表面に近づけておき、探針107のZ方向の位置をそのまま固定させた状態において、試料103をX、Y方向に移動させつつ、試料103の表面上の各点におけるエバネッセント波の反射光の強度を測定し、これを図示しない表示装置等で再構成することによって、試料表面の光学的な状態を高い分解能で得ることができるものである。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記従来の走査型近接場光学顕微鏡では、測定開始時に探針1

07を試料103の表面に予め接近させる際に、探針107が試料103に衝突させてしまうことがあるとともに、その接近に時間を要する欠点があった。

【0011】すなわち、エバネッセント波を検出する信号強度は、探針107が試料103から離れるに従って、急激に減少する。そして、エバネッセント波を検出する信号強度としては、1pW～1mW程度であり、非常に弱い。したがって、垂直調整装置106により探針107を試料103の表面に接近させていき、光検出器111から得られる信号強度に基づいて探針107を自動的に停止させる場合、探針107を試料103に衝突させてしまうことがあるのである。このように探針107が試料103に衝突してしまうと、試料103だけでなく探針107にもダメージが加わってしまうことが多い。そこで、このような衝突を避けるべく、探針107の試料103への接近速度を十分に遅くしていたが、この場合には試料103の迅速な測定を行うことができない。しかも、たとえ前記接近速度を十分に遅くしたとしても、光検出器111から得られる信号強度は、探針107と試料103の表面との間の距離を反映するだけではなく、試料103の光学的な状態を反映するものであるため、光検出器111の信号から探針107の接近状態を検出しようとしていたことから、試料103の表面の光学的な状態によっては光検出器107の信号から試料107の接近状態を検出することができず、探針107の試料103への衝突は避け得ない。

【0012】そして、以上説明した事情は、STM等の他の種々の走査型プローブ顕微鏡においても同様であった。例えば、STMでは、トンネル電流を検出する信号強度は、探針が試料から離れるに従って急激に減少するとともに、pAから数nA程度であり、非常に弱い。また、STMでは、トンネル電流の大きさは、探針と試料との間の距離を反映するのみならず、試料の導電率の状態によって変化するので、試料の導電率の状態によっては探針の試料への接近状態を検出することができない。

【0013】また、前記従来の走査型近接場光学顕微鏡では、光検出器111により得られる検出信号は、前述したように、試料103の光学的な状態及び探針107と試料103との間の距離の両方を反映するものである。すなわち、光検出器111により検出される光強度は、試料103の表面における局所的な光学的性質（屈折率、吸光度等）だけでなく、試料表面から開口までの距離に大きく左右され、試料103の表面の形状と光学的性質の2つの情報が分離されていない。例えば、検出信号強度が小さくなる要因として、観察領域の表面が窪んでいるという形状の変化と、屈折率が高くなっている、あるいは、吸光度が大きくなっている等の光学的变化が考えられる。したがって、前記従来の走査型近接場光学顕微鏡では、試料の光学的情報のみを形状情報から分離して得ることができないという欠点があった。

【0014】この点、原子間力顕微鏡で採用されている探針付きカンチレバーを用い、該探針を走査型近接場光学顕微鏡の探針としても用いることができるよう構成し、走査型近接場光学顕微鏡の機能と原子間力顕微鏡の機能を組み合わせた顕微鏡が提案されている。

【0015】しかし、この場合には、走査型近接場光学顕微鏡に適した探針をカンチレバーに形成しなければならず、構造上カンチレバーに設けることができる探針は限定されてしまい、使用できる探針が極めて限定されてしまうという欠点がある。

【0016】そして、このような事情も、STM等の他の種々の走査型プローブ顕微鏡においても同様であった。

【0017】本発明は、前述した事情に鑑みてなされたもので、探針を高速に試料表面に対して相対的に自動的に接近させることができ、しかも、探針が試料に衝突するおそれのない走査型プローブ顕微鏡を提供することを一つの目的とする。

【0018】また、本発明は、探針の種類に制約を受けることなく、試料の形状情報と分離した所望の情報のみを得ることができる走査型プローブ顕微鏡を提供することを他の目的とする。

#### 【0019】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するため、本発明の第1の態様による走査型プローブ顕微鏡は、試料が搭載される試料台と、探針と、試料表面と略垂直な方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第1の移動手段と、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第2の移動手段と、を備えた走査型プローブ顕微鏡において、前記試料台が水晶振動子からなり、前記試料台を前記試料台の共振周波数で振動させる振動手段と、前記試料台の共振周波数に応じた信号を出力する周波数検出手段と、指令信号に応答して前記探針が前記試料に対して相対的に接近するように前記第1の移動手段を制御するとともに、前記周波数検出手段の出力信号に基づいて、前記試料台の共振周波数が所定周波数となったときに、前記探針の前記試料に対する接近が停止するように前記第1の移動手段を制御する制御手段と、を更に備えたものである。

【0020】本発明の第2の態様による走査型プローブ顕微鏡は、試料が搭載される試料台と、探針と、試料表面と略垂直な方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第1の移動手段と、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第2の移動手段と、を備えた走査型プローブ顕微鏡において、前記試料台が水晶振動子からなり、前記試料台を前記試料台の共振周波数付近の所定周波数で振動させる振動手段と、前記試料台のインピーダンスに応じた信号を出力するインピーダンス検出手段と、指令信号

に応答して前記探針が前記試料に対して相対的に接近するように前記第1の移動手段を制御するとともに、前記インピーダンス検出手段の出力信号に基づいて、前記試料台のインピーダンスが所定インピーダンスとなったときに、前記探針の前記試料に対する接近が停止するよう前記第1の移動手段を制御する制御手段と、を更に備えたものである。

【0021】本発明の第3の態様による走査型プローブ顕微鏡は、試料が搭載される試料台と、探針と、試料表面と略垂直な方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第1の移動手段と、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第2の移動手段と、を備えた走査型プローブ顕微鏡において、前記試料台が水晶振動子からなり、前記試料台を前記試料台の共振周波数で振動させる振動手段と、前記試料台の共振周波数に応じた信号を出力する周波数検出手段と、前記周波数検出手段の出力信号に基づいて前記試料台の共振周波数が所定の周波数となるように前記第1の移動手段を制御しつつ、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針が試料表面を走査するように前記第2の移動手段を制御する制御手段と、を更に備えたものである。

【0022】本発明の第4の態様による走査型プローブ顕微鏡は、試料が搭載される試料台と、探針と、試料表面と略垂直な方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第1の移動手段と、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる第2の移動手段と、を備えた走査型プローブ顕微鏡において、前記試料台が水晶振動子からなり、前記試料台を前記試料台の共振周波数付近の所定周波数で振動させる振動手段と、前記試料台のインピーダンスに応じた信号を出力するインピーダンス検出手段と、前記インピーダンス検出手段の出力信号に基づいて前記試料台のインピーダンスが所定のインピーダンスとなるように前記第1の移動手段を制御しつつ、前記試料表面と略平行な面の方向に前記探針が試料表面を走査するように前記第2の移動手段を制御する制御手段と、を更に備えたものである。

【0023】本発明の第5の態様による走査型プローブ顕微鏡は、前記第3又は第4の態様による走査型プローブ顕微鏡において、前記試料表面と略平行な面の方向における前記探針の前記試料表面に対する相対位置に応じた、前記試料表面と略垂直な方向の前記探針の前記試料表面に対する相対位置に関する情報を得る手段を、更に備えたものである。

【0024】なお、本明細書において、「試料台が水晶振動子からなる」とは、試料台の全体が水晶振動子だけで構成されている場合のみならず、試料台が水晶振動子とその表面に設けられた板状等の部材とから構成されている場合等も含むものである。

【0025】前記第1の態様によれば、水晶振動子からなる試料台が振動手段により試料台の共振周波数で振動させられ、それに従って該試料台に搭載された試料も振動する。探針が試料に接近すると、探針と試料との間に働く原子間力により試料台の共振周波数が変化する。水晶振動子のQ値は高く、弱い力が加わっただけでも共振周波数の変化は大きい。このため、周波数検出手段により出力される試料台の共振周波数に応じた信号から、探針の試料への接近状態を感度良く検出することができる。したがって、探針の試料への接近速度を高めても、探針と試料とが衝突するおそれがなくなる。また、周波数検出手段から得られる信号は、探針と試料との間に働く原子間力に依存し、探針と試料との間の距離のみを反映しているので、試料の光学的状態や導電率などの状態にかかわらず、探針の試料への接近状態を検出することができる。その結果、前記第1の態様によれば、制御手段によって、探針が試料に対して相対的に接近するよう第1の移動手段が制御されるとともに、周波数検出手段の出力信号に基づいて、試料台の共振周波数が所定周波数となったときに、探針の試料に対する接近が停止するよう第1の移動手段が制御されるので、探針を高速に試料表面に対して相対的に自動的に接近させることができるとともに、探針が試料に衝突するおそれがなくなる。

【0026】また、前記第2の態様によれば、水晶振動子からなる試料台が振動手段により試料台の共振周波数付近の所定周波数で振動させられ、それに従って該試料台に搭載された試料も振動する。探針が試料に接近すると、探針と試料との間に働く原子間力により試料台の共振周波数が変化して試料台のインピーダンスが変化する。水晶振動子のQ値は高く、弱い力が加わっただけでも共振周波数の変化は大きく、試料台のインピーダンスの変化は大きい。このため、インピーダンス検出手段により出力される、試料台のインピーダンスに応じた信号から、探針の試料への接近状態を感度良く検出することができる。したがって、探針の試料への接近速度を高めても、探針と試料とが衝突するおそれがなくなる。また、インピーダンス検出手段から得られる信号は、探針と試料との間に働く原子間力に依存し、探針と試料との間の距離のみを反映しているので、試料の光学的状態や導電率などの状態にかかわらず、探針の試料への接近状態を検出することができる。その結果、前記第2の態様によれば、制御手段によって、探針が試料に対して相対的に接近するよう第1の移動手段が制御されるとともに、周波数検出手段の出力信号に基づいて、試料台のインピーダンスが所定インピーダンスとなったときに、探針の試料に対する接近が停止するよう第1の移動手段が制御されるので、探針を高速に試料表面に対して相対的に自動的に接近させることができるとともに、探針が試料に衝突するおそれがなくなり、探針及び試料の両方

のダメージを防止することができる。

【0027】また、前記第3の態様によれば、前記第1の態様と同様に、周波数検出手段から探針と試料との間の距離のみを示す信号が得られることになる。また、前記第4の態様によれば、前記第2の態様と同様に、周波数検出手段から探針と試料との間の距離のみを示す信号が得られることになる。したがって、前記第3及び第4の態様では、制御手段の制御によって、試料表面の凹凸に追従して探針と試料との間の距離が一定に保たれつ

つ、試料表面と略平行な面の方向に探針が試料表面を走査することになる。このため、前記第3及び第4の態様によれば、試料の形状情報と分離した、探針に起因した所望の情報（例えば、SNOMでは試料の光学的情報）のみを形状情報から分離して得ることができ、しかも、探針をカンチレバーに設ける必要がないので、探針の種類に何ら制約がなくなる。

【0028】前記第3及び第4の態様によれば、原子間力顕微鏡におけるいわゆるノンコンタクトモードと同様の探針の移動制御が実現されることになるので、前記第5の態様のように相対位置に関する情報を得ることによって、試料表面の凹凸の形状データも得ることができ、試料を観察する上で一層好ましい。

#### 【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明による走査型プローブ顕微鏡について、図面を参照して説明する。

【0030】（実施の形態1）まず、本発明の第1の実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡について、図1及び図3を参照して説明する。

【0031】図1は、本実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡を模式的に示す概略構成図である。また、図3は、水晶振動子のインピーダンス特性を示す図である。

【0032】本実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡は、試料（図示せず）が搭載される試料台1と、先端に開口2aを有する探針（光プローブ）2と、試料台1の表面と垂直なZ方向に探針2を移動させるプローブ駆動装置3と、試料台1の表面と平行な面の方向であって互いに直交するX方向及びY方向に独立して試料台1を移動させる試料台駆動装置4と、を備えている。

【0033】本実施の形態では、前記プローブ駆動装置3が試料表面と略垂直な方向に探針2を試料に対して相対的に移動させる移動手段を構成し、前記試料台駆動装置4が試料表面と略平行な面の方向に探針2を試料に対して相対的に移動させる移動手段を構成している。もっとも、これらの移動手段は探針2及び試料台4のいずれを移動させてよい。

【0034】また、本実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡は、探針2に光を照射して探針2の開口2aからエバネッセント波を発生させるための光源（図示せず）と、エバネッセント波による試料表面で反射した反

射光を検出する光検出器5と、図4中のセンサ113及び光ファイバ110に相当する前記反射光を光検出器5に導く手段(図示せず)と、を有している。もっとも、試料台2の背面から全反射条件を満たすように照射光を入射させて試料表面からエバネッセント波を発生させ、探針2の開口2aにより検出されたエバネッセント波を光検出器5に導く構成としてもよい。

【0035】そして、本実施の形態では、前記試料台1は、水晶振動子で構成されており、その上面及び下面に電極1a, 1bをそれぞれ有している。試料台1を構成している水晶振動子は、電極1a, 1b間に印加された電圧に応じてZ方向に振動するようになっている。本実施の形態では、試料台1が水晶振動子のみで構成されているが、必要に応じて水晶振動子の試料側表面に平板等を設けた構成としてもよい。もっとも、このような平板等を設けるとQ値が低下するので、水晶振動子の表面に直接試料を搭載することが好ましい。

【0036】また、図1に示すように、本実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡は、回路6と、混合器8と、ローパスフィルタ9と、F/Vコンバータ10と、制御部11と、操作部12と、処理部13と、表示部14とを備えている。

【0037】回路6の2つの端子6a, 6bには水晶振動子(試料台)1の電極1a, 1bがそれぞれ接続され、回路6は水晶振動子1とともにハートレー型やコルピツ型などの周知の水晶発振回路を構成しており、水晶振動子1はその共振周波数 $F_0$ (図3参照)で振動することになる。したがって、本実施の形態では、回路6が、試料台1を試料台1の共振周波数 $F_0$ で振動させる振動手段を構成している。回路6の構成自体は周知であるので、その詳細な説明は省略する。回路6の端子6cは前記水晶発振回路の出力端となっており、端子6cから周波数が共振周波数 $F_0$ である発振出力が得られる。

【0038】基準周波数発振器7は、基準周波数(本実施の形態では、探針2が試料表面から遠ざかっていて探針2と試料表面との間に原子間力が働くかない状態における水晶振動子1の共振周波数 $F_0$ である周波数 $f_0$ )とされているが、必ずしもこの周波数に限定されない。)を有する基準周波数信号を出力する。混合器8は、回路6の端子6cからの発振出力と基準周波数発振器7からの基準周波数信号を混合し、前記発振出力の周波数 $F_0$ と前記基準周波数信号の周波数 $f_0$ との和と差の周波成分を有する出力信号を出力する。ローパスフィルタ9は、混合器8の出力信号のうち前記差の周波数成分を有する信号のみを渦波して出力する。F/Vコンバータ10は、混合器8の出力信号の周波数に比例したレベルの電圧を出力する。

【0039】今、水晶振動子1の共振周波数 $F_0$ が $f_0$ から $f_0 + \Delta f_0$ に変化したとすると、混合器8の出力信号は $2f_0 + \Delta f_0$ の周波数成分と $\Delta f_0$ の周波数成分とを

有し、ローパスフィルタ9は $\Delta f_0$ の周波数成分を有する信号のみを出力し、F/Vコンバータ10の出力は $\Delta f_0$ に比例したレベルの電圧となる。ここで、 $\Delta f_0$ は、探針2が試料表面から遠ざかっていて探針2と試料表面との間に原子間力が働くかない状態における水晶振動子1の共振周波数 $F_0$ である周波数 $f_0$ に対する、実際の状態の水晶振動子1の共振周波数 $F_0$ である周波数 $f_0 + \Delta f_0$ の変化分であるので、F/Vコンバータ10の出力は、その変化分 $\Delta f_0$ を示し、結局、水晶振動子1の共振周波数 $F_0$ に応じた信号となる。

【0040】以上の説明からわかるように、本実施の形態では、混合器8、ローパスフィルタ9及びF/Vコンバータ10が試料台1の共振周波数 $F_0$ に応じた信号を出力する周波数検出手段を構成している。もっとも、周波数検出手段の構成はこれに限定されるものではない。

【0041】操作部12は、マウスやキーボードなどからなり、測定者の操作に応じて、測定開始時に探針2を試料に接近させる旨の指令(以下、「接近指令」という。)や測定開始指令などの各種に指令を入力する。

【0042】制御部11は、操作部12からの接近指令に応答して探針2が試料に対して接近するようにプローブ駆動装置3を制御する。そして、制御部11は、F/Vコンバータ10の出力信号に基づいて、試料台1の共振周波数 $F_0$ が所定周波数となったときに、探針2の試料に対する接近が停止するようにプローブ駆動装置3を制御する。すなわち、本実施の形態では、制御部11は、F/Vコンバータ10の出力信号のレベルが所定レベルとなったときに、プローブ駆動装置3の作動を停止させる。この所定レベルは、探針2と試料との間の距離30が所望の接近距離となったときに得られるレベルに設定しておく。

【0043】また、本実施の形態では、制御部11は、探針2の試料に対する接近が完了した後に与えられる操作部12からの測定開始指令に応答して、F/Vコンバータ10の出力信号に基づいてF/Vコンバータ10の出力信号のレベルが所定レベルとなるようにプローブ駆動装置3を制御しつつ、X方向及びY方向に探針2が試料表面を走査するように試料台駆動装置3を制御する。

【0044】なお、制御部11からプローブ駆動装置3に与えられる制御信号は、探針2の試料表面に対するZ方向の相対位置を示すことになる。また、制御部11からプローブ駆動装置3に与えられる制御信号は、探針2の試料表面に対するX方向及びY方向の相対位置を示すことになる。

【0045】処理部13は、前記測定開始指令に応答して、制御部11からの各制御信号及び光検出器5の検出信号を取り込み、探針2のX方向及びY方向の試料表面に対する相対位置に応じた光検出器5の検出信号のレベルに関する情報(すなわち、試料の光学的情報)を得るとともに、探針2のX方向及びY方向の試料表面に対す

11

る相対位置に応じた探針2のZ方向の試料表面に対する相対位置に関する情報（すなわち、試料の形状情報）を得る。そして、これらの情報はCRT等の表示部14に画像として表示される。

【0046】本実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡によれば、水晶振動子からなる試料台1が回路6により試料台1の共振周波数 $F_0$ で振動させられ、それに従って試料台1に搭載された試料も振動する。

【0047】操作部12からの接近指令に応答して、プローブ駆動装置3が作動して探針2が試料に接近すると、探針2と試料との間に働く原子間力により試料台1の共振周波数 $F_0$ が低周波側にシフトする。この結果、 $F/V$ コンバータ10の出力電圧のレベルが変化する。そして、 $F/V$ コンバータ10の出力電圧のレベルが所定レベルになると、制御部11によりプローブ駆動装置3が作動停止され、探針2の試料への接近が自動的に停止される。

【0048】水晶振動子のQ値は高く、弱い力が加わっただけでも共振周波数 $F_0$ の変化は大きい。このため、 $F/V$ コンバータ10の出力から、探針2の試料への接近状態を感度良く検出することができる。したがって、探針2の試料への接近速度を高めても、探針2と試料とが衝突するおそれがなくなる。また、 $F/V$ コンバータ10の出力は、探針2と試料との間に働く原子間力に依存し、探針2と試料との間の距離のみを反映しているので、試料の光学的状態にかかわらず、探針2の試料への接近状態を検出することができる。したがって、この点からも、探針2と試料とが衝突するおそれがなくなる。

【0049】また、本実施の形態によれば、 $F/V$ コンバータ10の出力信号が探針2と試料との間の距離のみを反映している。そして、前述したように、操作部12からの測定開始指令に応答して、制御部11は、 $F/V$ コンバータ10の出力信号に基づいて $F/V$ コンバータ10の出力信号のレベルが所定レベルとなるようにプローブ駆動装置3を制御しつつ、X方向及びY方向に探針2が試料表面を走査するように試料台駆動装置3を制御する。したがって、制御部11の制御によって、試料表面の凹凸に追従して探針2と試料との間の距離が一定に保たれつつ、試料表面と略平行な面の方向に探針2が試料表面を走査することになる。すなわち、原子間力顕微鏡におけるいわゆるノンコンタクトモードと同様の探針の移動制御が実現されることになる。このため、処理部13により得られた試料の光学的情報は、試料の形状情報と分離したものとなる。

【0050】さらに、本実施の形態では、処理部13により試料の形状情報も得ているので、試料を観察する上で好ましい。もっとも、本発明では、必ずしも試料の形状情報を得なくてもよい。

【0051】(実施の形態2) 次に、本発明の第2の実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡について、図2

12

を参照して説明する。

【0052】図2は本実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡を模式的に示す概略構成図である。図2において、図1中の構成要素と同一又は対応する構成要素には同一符号を付し、その説明は省略する。

【0053】本実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡が前記第1の実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡と異なるところは、図1中の回路6、混合器8、ローパスフィルタ9及び $F/V$ コンバータ10が削除され、代わりに、オシレータ21、抵抗22及びロックインアンプ23が設けられている点である。

【0054】水晶振動子1の一方の電極1bが接地され、水晶振動子1の他方の電極1aが抵抗22を介してオシレータ21の出力端子に接続されている。オシレータ21は、水晶振動子1の発振周波数 $F_0$ 付近の所定周波数 $f_A$ の発振出力を出力端子に出力する。したがって、本実施の形態では、オシレータ21及び抵抗22が試料台1を試料台1の発振周波数 $F_0$ 付近の所定周波数 $f_A$ で振動させる振動手段を構成している。なお、本実施の形態では、前記第1の実施の形態と異なり、水晶振動子1は、自身の共振周波数で発振するのではなく、オシレータ21により常に所定周波数 $f_A$ で強制的に励振させられるのである。

【0055】また、本実施の形態では、オシレータ21の出力端子はロックインアンプ23のレファレンス入力端子23aに接続され、ロックインアンプ23の入力端子23bは水晶振動子1の電極1aに接続され、ロックインアンプ23の出力端子23cが制御部11に接続されている。ロックインアンプ23は、入力端子23bに入力された信号の周波数成分のうちレファレンス入力端子23aに入力された信号の周波数と同じ周波数成分の振幅に比例したレベルの直流電圧を出力端子23cに出力するものである。したがって、水晶振動子インピーダンスをZ、オシレータの電圧をVとすると、ロックインアンプ23の出力端子23cから、 $(Z/(Z+R)) \cdot V$ に比例した直流電圧が得られ、水晶振動子1のインピーダンスに応じたレベルの電圧が得られることになる。以上の説明からわかるように、本実施の形態では、ロックインアンプ23が水晶振動子1のインピーダンスに応じた信号を出力するインピーダンス検出手段を構成している。もっとも、本発明では、インピーダンス検出手段の構成はこれに限定されるものではない。

【0056】さらに、本実施の形態では、制御部11は、ロックインアンプ23の出力信号に基づいて、試料台1のインピーダンスが所定周波数となったときに、探針2の試料に対する接近が停止するようにプローブ駆動装置3を制御する。すなわち、本実施の形態では、制御部11は、ロックインアンプ23の出力信号のレベルが所定レベルとなったときに、プローブ駆動装置3の作動を停止させる。この所定レベルは、探針2と試料との間

## 13

の距離が所望の接近距離となったときに得られるレベルに設定しておく。

【0057】また、本実施の形態では、制御部11は、探針2の試料に対する接近が完了した後に与えられる操作部12からの測定開始指令に応答して、ロックインアンプ23の出力信号に基づいてロックインアンプ23の出力信号のレベルが所定レベルとなるようにプローブ駆動装置3を制御しつつ、X方向及びY方向に探針2が試料表面を走査するように試料台駆動装置3を制御する。

【0058】以上説明した点以外については、本実施の形態は前記第1の実施の形態と全く同じである。

【0059】本実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡によれば、水晶振動子からなる試料台1がオシレータ21及び抵抗22により試料台1の共振周波数 $F_0$ 付近の所定周波数 $f_A$ で振動させられ、それに従って試料台1に搭載された試料も振動する。

【0060】操作部12からの接近指令に応答して、プローブ駆動装置3が作動して探針2が試料に接近すると、探針2と試料との間に働く原子間力により試料台1の共振周波数 $F_0$ が低周波側にシフトする。すなわち、水晶振動子1のインピーダンスが変化する。この結果、ロックインアンプ23の出力電圧のレベルが変化する。そして、ロックインアンプ23の出力電圧のレベルが所定レベルになると、制御部11によりプローブ駆動装置3が作動停止され、探針2の試料への接近が自動的に停止される。

【0061】水晶振動子のQ値は高く、弱い力が加わっただけでも共振周波数 $F_0$ の変化は大きく、試料台1のインピーダンスの変化は大きい。このため、ロックインアンプ23の出力から、探針2の試料への接近状態を感じ度よく検出することができる。したがって、探針2の試料への接近速度を高めても、探針2と試料とが衝突するおそれがなくなる。また、ロックインアンプ23の出力は、探針2と試料との間に働く原子間力に依存し、探針2と試料との間の距離のみを反映しているので、試料の光学的状態にかかわらず、探針2の試料への接近状態を検出することができる。したがって、この点からも、探針2と試料とが衝突するおそれがなくなる。

【0062】また、本実施の形態によれば、ロックインアンプ23の出力信号が探針2と試料との間の距離のみを反映している。そして、前述したように、操作部12からの測定開始指令に応答して、制御部11は、ロックインアンプ23の出力信号に基づいてロックインアンプ23の出力信号のレベルが所定レベルとなるようにプローブ駆動装置3を制御しつつ、X方向及びY方向に探針2が試料表面を走査するように試料台駆動装置3を制御する。したがって、制御部11の制御によって、試料表面の凹凸に追従して探針2と試料との間の距離が一定に保たれつつ、試料表面と略平行な面の方向に探針2が試料表面を走査することになる。すなわち、原子間力顕微

50

## 14

鏡におけるいわゆるノンコンタクトモードと同様の探針の移動制御が実現されることになる。このため、処理部13により得られた試料の光学的情報は、試料の形状情報と分離したものとなる。

【0063】さらに、本実施の形態においても、処理部13により試料の形状情報も得ているので、試料を観察する上で好ましい。

【0064】以上本発明の各実施の形態について説明したが、本発明はこれらの実施の形態に限定されるものではない。

【0065】例えば、前述した各実施の形態では、試料の形状情報と分離した試料の光学的な情報の取得と探針3の自動接近の両方を同時に達成するものであったが、本発明は、それらの一方のみを達成するものであってもよい。

【0066】また、前述した各実施の形態は本発明を走査型近接場光学顕微鏡に適用した例であったが、本発明は、走査型トンネル顕微鏡やその他の種々の走査型プローブ顕微鏡に適用することもできる。

## 20 【0067】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、探針を高速に試料表面に対して相対的に自動的に接近させることができ、しかも、探針が試料に衝突するおそれがなくなる。

【0068】また、本発明によれば、探針の種類に制約を受けることなく、試料の形状情報と分離した所望の情報のみを得ることができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡を模式的に示す概略構成図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態による走査型近接場光学顕微鏡を模式的に示す概略構成図である。

【図3】水晶振動子のインピーダンス特性を示す図である。

【図4】従来の走査型近接場光学顕微鏡を示す概略構成図である。

## 【符号の説明】

- 1 試料台(水晶振動子)
- 2 探針
- 3 プローブ駆動装置
- 4 試料台駆動装置
- 5 光検出器
- 6 回路
- 7 基準周波数発振器
- 8 混合器
- 9 ローパスフィルタ
- 10 F/Vコンバータ
- 11 制御部
- 12 操作部
- 13 処理部

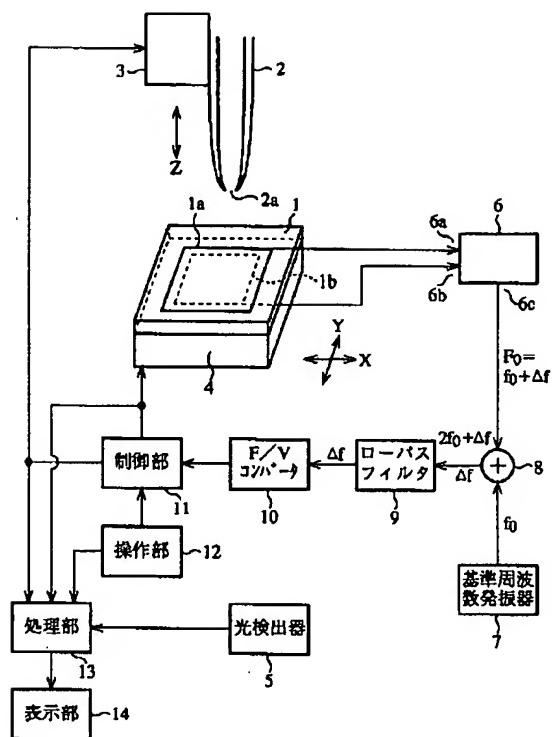
15

16

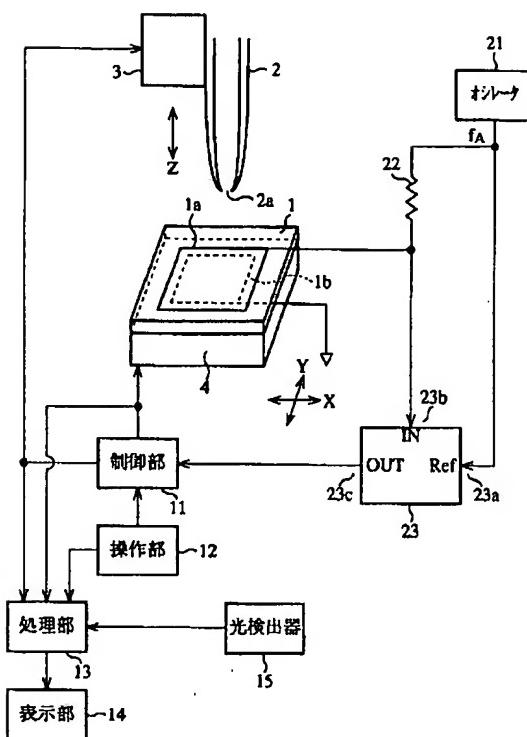
14 表示部  
21 オシレータ

22 抵抗  
23 ロックインアンプ

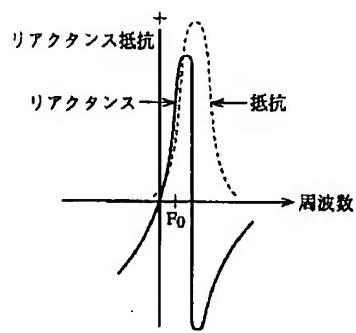
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

